ซีมัวร์ เครย์ กับ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ ตอน1

"การประยุกต์ออกแบบคอมพิวเตอร์ ที่เดิมมีใช้อยู่แล้ว ให้มีประสิทธิภาพการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น จนกระทั่งมาเป็น ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ จากมันสมองบุคคลชื่อ ซีมัวร์ เครย์"

สหัส พรหมสิทธิ์

ซีมัวร์ เครย์ (Seymour R. Cray) นั้นเกิดมาเพื่อออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์โดยเฉพาะ อีกทั้งเป็นคนที่มีอะไรหลาย ๆ อย่างที่น่าสนใจ โดยเฉพาะปรัชญาหลักเกณฑ์ในการออกแบบคอมพิวเตอร์ของบุคคลผู้นี้ที่น่าอาศัยเป็นแบบอย่างเพื่อนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี เพราะได้มีการคำนึงถึงการนำสิ่งต่าง ๆ ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่แล้ว มาประกอบกันขึ้นเป็นของใหม่ที่สามารถส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพอันสูงสุดได้เช่นในกรณีของ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่เป็นผลของการออกแบบของเครย์ จึงน่าศึกษาว่าพื้นฐานของบุคคลผู้นี้เป็นมาอย่างไร พร้อม ๆ กับการทำความเข้าใจในเรื่องของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์พร้อมกันไปด้วย

เครย์เกิดเมื่อปี ค.ศ. 1925 และเข้ารับการศึกษาขั้นต้นที่โรงเรียนชิปเปว่า (Chippewa High) โดยเรียนดีจนได้รับรางวัลดีเด่นทางวิทยาศาสตร์ และมาเข้าเรียนต่อทางวิศวกรรมไฟฟ้าที่มหา-

วิทยาลัยมินเนโซต้า จนจบปริญญาตรีเมื่อปี 1950 ซึ่งอาจารย์ผู้ที่เคยสอนเครย์ที่มหาวิทยาลัยแห่งนี้ได้รำลึกว่า คนอย่างเครย์นั้นจะแก้ปัญหาด้วยการมองหาทางออกหรือความเป็นไปได้ไว้ทุกแง่ทุกมุม จนสามารถก้าวไปสู่ขั้นสุดท้ายที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด จนหาตัวจับได้ยาก ซึ่งคุณสมบัติเช่นนี้จะปรากฏออกมาอย่างเด่นชัดในเวลาที่เขาออกแบบคอมพิวเตอร์ โดยเป็นนักออกแบบที่หาตัวจับได้ยากที่สุดคนหนึ่งในโลก

เครย์เข้าทำงานกับ Engineering Research Associates (ERA) ในขณะที่กำลังทำปริญญาโททางคณิตศาสตร์อยู่ ซึ่งทำงานอยู่ไม่นานก็ได้รับมอบหมายให้สร้างคอมพิวเตอร์ที่ต่อมาชื่อว่า UNIVAC 1103 อันเป็นจุดเริ่มของการยึดอาชีพเป็นนักออกแบบคอมพิวเตอร์-ความเร็วสูงที่ใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งเขาก็ได้ยึดอาชีพนี้จวบจนกระทั่งขณะนี้ การทำงานกับ ERA นี้จัดเป็นช่วงอันแสนสั้นของเครย์ที่จะอยู่กับบริษัทนี้ เพราะในไม่ช้า เครย์และวิลเลียม นอริส (William Norris) ก็ชวนเพื่อนร่วมงานอื่น ๆ ใน ERA ออกมาตั้งบริษัทใหม่ชื่อ Control Data Corporation (CDC) ซึ่งต่อมาภายหลังวิลเลียม นอริสก็ได้กลายเป็นผู้ทรงอิทธิพลคนหนึ่งใน CDC การยกทีมกันลาออกจาก ERA แล้วมาตั้ง CDC ในปี ค.ศ. 1957 นั้นเกิดขึ้นเพราะทั้งเครย์และนอริสต่างต้องการจะจับตลาดคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงในงานด้านวิทยาศาสตร์โดยจะออกแบบคอมพิวเตอร์ให้เร็วถึงระดับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ อันหมายถึงว่าจะครองความเป็นจ้าวในเรื่องของความเร็วให้ได้ในทุกยุคทุกสมัยนั่นเอง ซึ่งขณะที่ทำงานอยู่กับ CDC นี้ เครย์ก็เริ่มแสดงการรักสันโดษออกมาให้เห็นด้วยการตั้งข้อเบื่อหน่ายงานด้านบริหาร ตลอดจนเรื่องจุกจิกหยุมหยิมอื่น ๆ เพราะไม่ชอบให้ใครมารบกวนตนขณะทำการค้นคว้าออกแบบ ซึ่งต้องการเวลาและสมาธิในการคิดคำนึงเป็นอย่างยิ่ง อันเนื่องจากว่าการออกแบบตลอดจนการสร้างซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นเรียกได้ว่าหนักในทุกด้าน คือหนักทั้งการใช้ความคิด หนักทั้งกำลังเงินที่ต้องลงทุน หนักทั้งในการค้นคว้าวิจัยและในที่สุดหนักทั้งในเวลาสร้าง กับเวลาประกอบส่วนต่าง ๆ ขึ้นมาเป็นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในขั้นสุดท้าย อันเป็นเหตุให้มีการย้ายแล็บหรือห้องทดลองของ CDC ให้ไกลจากงานบริหารในสำนักงานใหญ่ในเมืองให้ออกมาอยู่ในที่ที่ไกลหูไกลตาผู้คน คือที่ชิปเปว่า ฟอลล์ส (Chippewa Falls) อันเป็นตำบลเล็ก ๆ ในรัฐวิสคอนซิน ส่วนสำนักงานใหญ่ของ CDC นั้นอยู่ที่เมืองมินเนียโปลิส ทั้งหมดนี้ก็เป็นประวัติสั้น ๆ ของซีมัวร์ เครย์ ซึ่งทำงานอยู่กับ CDC ก่อนจะออกมาตั้งสำนักงานออกแบบของตนเองในภายหลังโดยใช้ชื่อว่า Cray Research เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจในช่วงแรก ๆ หลังจากปี ค.ศ. 1970 นั้นไม่เอื้ออำนวยการสร้างคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงมาก ๆ เช่น ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แต่อย่างใด เพราะลูกค้าขาดกำลังซื้อ อันทำให้ CDC ต้องให้ความสนใจเฉพาะคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วระดับกลาง ๆ เพราะจะขายดีกว่า จึงขัดกับความต้องการของเครย์ที่มีความผูกพันกับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์อย่างมากเพราะเคยเป็นผู้ออกแบบ CDC 6600 และ CDC 7600 ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ระดับซุปเปอร์มาก่อนที่จะมาตั้ง Cray Research ดังนั้นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เช่น : -Cray-1 จึงได้รับอิทธิพลไปจากความเป็น CDC อยู่หลายอย่างดังผู้อ่านจะเห็นในต่อ ๆ ไป และก่อนที่จะถึงตอนนั้นจะขอเข้าสู่หลักวิชาของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไปสักเล็กน้อย แล้วจึงจะพูดถึงเรื่องของ Cray, คอมพิวเตอร์เป็นการสลับกันไปในรูปที่ย่นย่อที่สุด

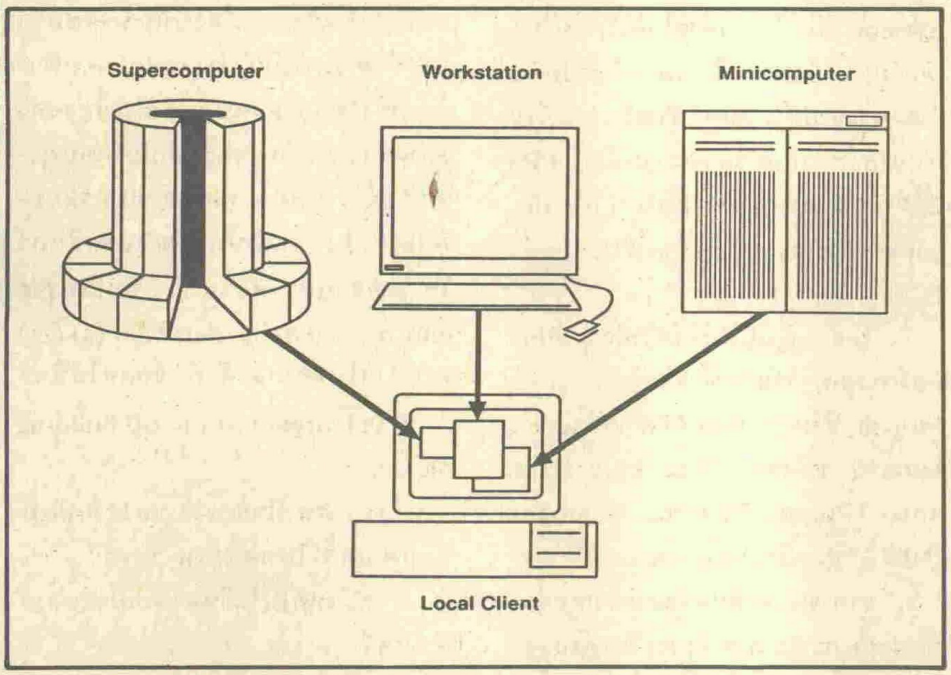
รูปที่ 1 ซีมัวร์ เครย์ในวัยสู่ชราภาพ (ถ่ายเมื่อพฤษภาคม 1989)

ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

อันที่จริง ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ (supercomputers) นั้นเกิดมีมาพร้อม ๆ กับการมีคอมพิวเตอร์แบบที่ใช้งานทั่ว ๆ ไปอุบัติขึ้นมาครั้งแรกในโลก งานสร้างซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นนอกจากจะเป็น

งานที่ยุ่งยากซับซ้อนเอาอย่างมาก ๆ แล้วยังสิ้นค่าใช้จ่ายอย่างมหาศาล ส่วนนักออกแบบคอมพิวเตอร์ประเภทนี้ก็จะมีเพียงหยิบมือเดียวเท่านั้นคือนับด้วยนิ้วได้ จำนวนของผู้ที่จะสามารถซื้อหาเครื่องพวกนี้มาใช้ก็มีไม่มาก เช่น ตัวเลขเมื่อเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1985 ที่ได้แสดงไว้ว่าในซีกโลกตะวันตกนั้นได้มีการติดตั้งซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ไม่เกิน 80 แห่ง ซึ่งบางแห่งก็มีคอมพิวเตอร์เช่นนี้หลายเครื่อง ซึ่งผู้ที่ใช้คอมพิวเตอร์ชนิดนี้อยู่แล้วก็มักจะซื้อเครื่องรุ่นใหม่ ๆ เข้ามาเพิ่มเติมอยู่เรื่อย ๆ ทันทีที่มีการประกาศขาย แต่การขายซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ก็ยังเป็นอาชีพที่อาภัพอยู่ เพราะจะขายได้ราวปีละ 50 เครื่องเท่านั้น จึงจะหวังร่ำรวยจากการขายคอมพิวเตอร์แบบนี้ได้ยาก อันจะเห็นได้จากการที่ผู้ผลิตหลาย ๆ รายถึงกับต้องเลิกกิจการไปก็มี

แม้ว่าซุปเปอร์คอมพิวเตอร์จะได้รับการออกแบบให้ทำงานที่หนักไปในทางด้านวิทยาศาสตร์ก็ตาม แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าจะนำเครื่องแบบนี้มาใช้ในงานทั่วไปไม่ได้ คือถ้าจำเป็นจริง ๆ ก็สามารถนำมาใช้กับงานในด้านธุรกิจได้อย่างสบาย แต่สิ่งที่ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ทำได้ดีที่สุดเห็นจะเป็นการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ในแง่ของการคิดคำนวณเลขจนได้สมญานามว่าเครื่องบดตัวเลข เพราะเครื่องแบบนี้สามารถทำการคำนวณได้เร็วถึง 400 ล้านครั้งต่อวินาที โดยให้ความละเอียดออกมาเป็นทศนิยมถึง 14 ตำแหน่ง อันนี้ก็เป็นตัวเลขแสดงถึงความเร็วของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในยุคหนึ่งเท่านั้น เพราะจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เร็วขึ้นเรื่อย ๆ จึงต้องมีการติดตามกันอยู่ตลอดเวลา คุณสมบัติอีกอันหนึ่งของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ก็คือว่าส่วนมากจะออกแบบมาเพื่อใช้กับภาษา FORTRAN เนื่องจากภาษานี้ยังแพร่หลายอยู่อย่างมากในหมู่นักวิทยาศาสตร์และนักวิศวกร



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบหนึ่งของการทำงานของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ร่วมกับคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ซึ่งซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในกรณีนี้จะมีลักษณะเด่นจนเห็นได้ชัดว่าต้องเป็นของ Cray Research เพราะมีรูปทรงที่ไม่เหมือนใคร

ส่วนความหมายของคำว่า "ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์" นั้นก็มีอยู่ว่าต้องเป็นคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์ที่มีอานุภาพมากที่สุดในยุคหนึ่ง ๆ อันหมายถึงว่า ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่แท้จริงนั้นจะมีเพียงแบบหรือยี่ห้อเดียวในโลกเท่านั้น จนกว่าแบบอื่นหรือยี่ห้ออื่นจะเข้ามาแย่งตำแหน่งไปเพราะเร็วกว่า ทั้งหมดนี้ก็เป็นความหมายที่ง่าย ๆ และแคบ ๆ สำหรับคำว่าซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ซึ่งถ้าจะมองให้กว้างกว่านี้ก็จะได้ว่าจะไม่มีคอมพิวเตอร์โมเดลใดที่พูดได้ว่ามีอานุภาพมากที่สุดเพราะสถาปัตยกรรมของคอมพิวเตอร์แต่ละแบบก็จะเหมาะสำหรับงานแต่ละอย่าง ส่วนวิธีวัดอานุภาพของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นก็จะมีการดูอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น :-

* ความเร็วในการคำนวณตัวเลขที่เป็นเลขจริง หรือที่เรียกว่า floating-point (real) numbers

* หน่วยความจำจริงหรือ real memory ซึ่งบางทีก็เรียกว่า storage capacity

* ความแม่นยำและพิสัยอันเป็นขนาดของตัวเลขที่สามารถคำนวณได้

* ความเร็วในการส่งถ่ายตัวเลขไปมาในส่วนต่าง ๆ ของระบบคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่า bandwidth เช่น ความเร็วในการถ่ายทอดผลของการคำนวณจากรีจิสเตอร์ไปยังหน่วยความจำก็จะมีชื่อเรียกว่าเป็น register-to-memory bandwidth ของเครื่องแบบใดแบบหนึ่งเป็นต้น

ในระยะเวลาราว 40 ปีนับตั้งแต่เริ่มมีคอมพิวเตอร์ให้ใช้นั้น ความเร็วของมันได้เพิ่มขึ้นนับเป็นหมื่นเท่าเช่นกรณีของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์และก็คงจะต้องเร็วขึ้นอีกเรื่อย ๆ เพื่อให้แก้ปัญหายาก ๆ ได้ เพราะงานใหญ่ ๆ หรืองานสำคัญ ๆ ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์นั้นล้วนต้องพึ่งซุปเปอร์คอมพิว-

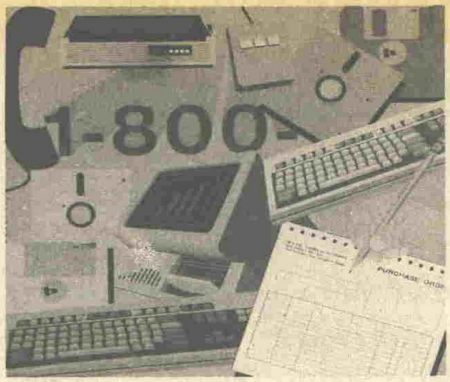
เตอร์ให้เข้ามาช่วยคำนวณทำนายทายทักทั้งสิ้นเช่น งานด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์และการออกแบบอุปกรณ์ฟังก์ชันต่าง ๆ จนถึงการออกแบบในด้านอากาศพลศาสตร์สำหรับระบบอาวุธและระบบส่งดาวเทียม ส่วนในด้านวิทยาศาสตร์นั้นที่ใช้ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ก็มีเช่น :-

* astrophysics
* elementary particle physics
* quantum chemistry
* crystallography
* oceanography
* meteorology หรืออุตุนิยมวิทยา

การใช้ประโยชน์จากซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นไม่ได้หยุดอยู่แค่งานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเท่านั้น เพราะได้มีการนำเครื่องเช่นนี้มาใช้ในงานด้านธุรกิจอีกด้วยเช่น การออกแบบเครื่องบินและรถยนต์จนถึงการทำภาพยนตร์ และการสำรวจค้นหาแหล่งแร่และน้ำมัน ทั้งหมดนี้ก็เป็นสั้น ๆ ว่าซุปเปอร์คอมพิวเตอร์คืออะไร และมีที่ใช้ในด้านไหนบ้าง ซึ่งแน่ละที่ใช้นั้นนับวันจะต้องกว้างขึ้นทุกที ตราบเท่าที่ยังมีความต้องการให้งานบางอย่างรุดหน้าไปอย่างรวดเร็วและอย่างถูกต้องแม่นยำ รวมไปจนถึงว่าสักวันหนึ่งซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นจะไม่เพียงแต่คำนวณได้เร็วราวลมกรดเท่านั้น แต่จะมีการใช้เครื่องเช่นนี้ให้ช่วยคิดหรือช่วยมองอะไรให้ล้ำลึกเข้าไปจนถึงแก่นแท้ของสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือของปัญหาต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นเรื่องอะไรก็ได้ ซึ่งก่อนที่จะพูดรายละเอียดในประเด็นต่าง ๆ ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ก็จะขอสลับฉากด้วยการพูดถึงตลาดของคอมพิวเตอร์แบบนี้เสียก่อนว่าเป็นเช่นใด

ตลาดของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ตัวเลขเมื่อเดือนมีนาคม 1985 นั้นมีว่าได้มีการใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์



ในโลกซีกตะวันตกอยู่ 150 เครื่องและจำนวน 10 เครื่องจากตัวเลขดังกล่าวจะเป็นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่ทำในญี่ปุ่น ส่วนที่เหลือทำในสหรัฐฯ ทั้งหมด เช่น CDC ซึ่งผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในตระกูล Cyber 200 และ Cray Research Inc. ซึ่งผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในตระกูล Cray-1 และ Cray X-MP ผู้ผลิตรอง ๆ ลงไปก็มีเช่น Denelcor Inc. ซึ่งผลิต Heterogeneous Element Processor (HEP) ส่วนเครื่องราคาถูก ๆ ก็มีเช่น FPS 264 ของ Floating Point System ที่ถือว่าไม่ใช่ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบใช้งานทั่วไป แต่จะใช้ร่วมกับเมนเฟรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม โดย FPS 264 นี้ จะทำหน้าที่เหมือน ๆ กับ distributed array processor (DAP) ของ ICL

ในด้านญี่ปุ่นนั้นก็มีผู้ผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รายใหญ่ ๆ อยู่สามรายคือ Fujitsu ซึ่งผลิต FACOM VP series, Hitachi ซึ่งผลิต Hitac $810 series และ Nippon Electric Company (NEC) ซึ่งผลิต SX-n series

ราคาของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์จะตกประมาณตั้งแต่ 5 ล้านเหรียญสหรัฐฯ จนถึงราว 20 ล้านเหรียญสำหรับเครื่องหนึ่ง ๆ และในปี ค.ศ. 1984 ก็ได้มีการขายคอมพิวเตอร์แบบนี้ไปถึง 26 เครื่อง อันแสดงถึงขนาดของตลาดที่เล็กจนเป็นจุด ๆ หนึ่งเท่านั้นเมื่อเทียบกับตลาดของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด รายได้อันเกิดจากการขายซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในปีที่แล้ว ๆ มานั้นจะตกปีละ 500 ล้านเหรียญ แต่ก็ยังมีหลายประเทศที่อยากเด่นอยากดังในเรื่องนี้เพราะความรู้และประสบการณ์จากการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นจะส่งผลดีไปในด้านอื่น ๆ อีกหลายอย่าง จึงจะขอยกตัวอย่างของผลดีดังกล่าวในทางอุตสาหกรรมให้เห็นสักอันหนึ่งเช่น เมื่อสิบปีก่อนโน้นเวลาจะออกแบบแค่ปีกเครื่องบินก็จะต้องใช้เวลาในการทำคอมพิวเตอร์ซิมูเลชันนานถึง 150 ชั่วโมง แต่มาถึงสมัยนี้ถ้าใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ทำซิมูเลชันสำหรับเครื่องบินทั้งลำก็จะใช้เวลาเพียง 17 นาทีเท่านั้นคือทั้งรวดเร็ว, แม่นยำและประหยัด พูดมาแค่นี้ผู้อ่านก็จะเห็นชัดแล้วว่าผลดีหรือผลที่ตามมาอันเกิดจากการมีปัญญาที่จะใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นมีมากแค่ไหน ที่สำคัญก็คือทำให้สามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้อย่างประหยัดและก็ยังมีปัญหาอีกมากมายที่รอเวลาให้มีผู้นำซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เข้าไปแก้ ทั้งหมดนี้ก็เป็นเรื่องของตลาดและการเมืองของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งจากนี้ก็จะพูดถึงซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในประเด็นสำคัญ ๆ ให้ลึกลงไป โดยจะกล่าวหัวข้อ (1) ก่อนเพราะเนื้อหามากและสำคัญ ส่วนหัวข้อ (2)-(11) จะกล่าวในตอน 2 ดังหัวข้อต่อไปนี้ :-

(1) organization of building blocks

(2) สถาปัตยกรรมของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในทศวรรษ 1970

(3) เทคโนโลยีของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

(4) ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในทศวรรษ 1980 ในสหรัฐอเมริกา

(5) ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในทศวรรษ 1980 ในญี่ปุ่น

(6) การคำนวณทางวิทยาศาสตร์

(7) ซอฟต์แวร์และสกาล่าร์ ออปติไมเซชัน (optimization)

(8) เวคเตอร์ไรเซชัน (vectorization)

(9) ประสิทธิผล (performance) ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

(10) ที่ใช้ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

(11) อนาคตของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

Organization of building block หรือการจัดองค์กรในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

เมื่อพูดถึงเรื่องของความซับซ้อนของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แล้วก็ต้องนึกถึงซีมัวร์ เครย์ (Seymour Cray) อีกครั้งในฐานะที่เป็นนักออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ชั้นแนวหน้าของโลก ซึ่งคน ๆ นี้เคยพูดไว้ว่า "ผู้ออกแบบคอมพิวเตอร์ ต้องเป็นวิศวกรทำความเย็นชั้นดีและจะต้องเป็นนักเดินท่อที่ดีมาก ๆ ในเวลาเดียวกันด้วย" อันเป็นคำพูดที่แสนง่ายแต่ลึกลงไปแล้วแฝงไว้ด้วยความจริงในทางปฏิบัติที่ปฏิเสธได้ยากที่สุด เพราะคนอย่างเครย์นั้นเป็นนักภาคปฏิบัติที่หาตัวจับได้ยากที่สุดคนหนึ่งคราวนี้ก็หันมาดูว่าทำไมเครย์จึงพูดอย่างที่ว่าไว้ เหตุผลง่าย ๆ ก็คือ การทำงานของคอมพิวเตอร์จะส่งความร้อนออกมาซึ่งยิ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ และวงจรที่ผนึกกันหนาแน่นมากเท่าใด การปล่อยความร้อนออกมายิ่งมากขึ้นเท่านั้น ผู้ออกแบบจึงต้องนึกถึงเรื่องของการระบายความร้อนให้มาก ๆ ตลอดจนเรื่องของการจัดท่อทางต่าง ๆ ในการระบายความร้อนว่าทำอย่างไรจึงจะกะทัดรัดที่สุด

ต่อไปก็จะพูดถึงโครงสร้างหรือ building blocks อันเป็นสถาปัตยกรรมของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ว่ามีรูปร่างหน้าตาเป็นเช่นใด ซึ่งจะรวมไปถึงว่าคอมพิวเตอร์แบบนี้ติดต่อหรือทำงานร่วมกับสิ่งที่อยู่โลกภายนอกได้เช่นใด โดยแบ่งเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

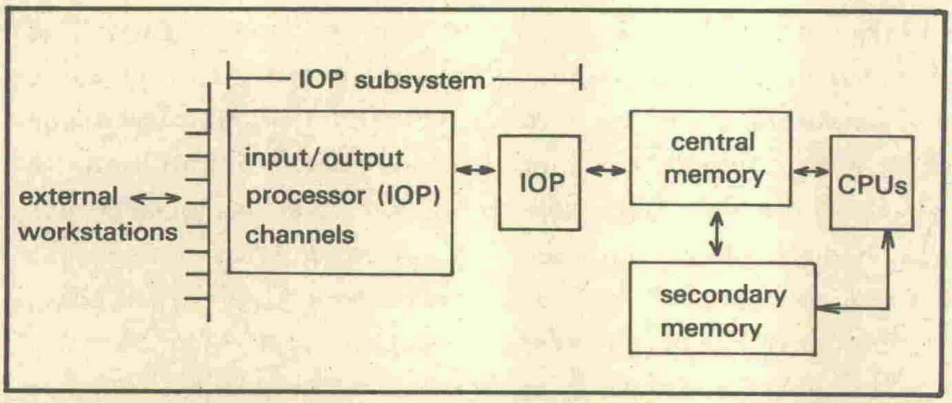
* external workstations
* an input/output subsystem including I/O channels
* central storage หรือ memory
* registers
* vector pipes
* cache memory หรือ instruction buffers
* central processing units (CPUs)
* possibly secondary storage
* internal channels to connect registers to memory
* a mechamism for multiprogramming

building blocks หรือการจัดองค์กรต่าง ๆ ภายในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์และการติดต่อกับโลกภายนอกซึ่งสามารถแสดงด้วยภาพเช่นในรูปที่ 3 อนึ่งสิ่งที่กำลังพูดในขณะนี้จะเน้นในเรื่องของ เวคเตอร์ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ อันจะเป็นคนละเรื่องกับ array processors ในแง่ที่ว่าเวคเตอร์ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นได้ผนึกในสิ่งที่เรียกว่า parallelism หรือการขนานกัน เอาไว้ในตัวคอมพิวเตอร์น้อยมาก คือยังมีลักษณะของการแยกเป็นส่วน ๆ (discrete structures) ให้เห็นได้อย่างชัดเจนเช่น การแยก IOP subsystem จาก CPUs กับการใช้ pipes ประเภทอิสระจำนวนหนึ่งจนถึงการมีฟังก์ชันแนลยูนิตต่าง ๆ (functional units) ที่แยกกันเป็นเอกเทศ อย่างไรก็ดีโครงสร้างชนิดที่แยกกันเป็นส่วน ๆ นี้สามารถนำมาจัดการให้ทำงานแบบขนานกัน (parallel) ได้ทุกเวลา ส่วนเหตุผลที่ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์มีประสิทธิผลสูงมาก ๆ นั้นเป็นเพราะ :-

(ก) การมีคาบนาฬิกาหรือ clock period ที่เร็วมากคือจะน้อยกว่า 10 นาโนวินาที (นาโนหรือ nano จะเท่ากับเศษหนึ่งส่วนพันล้าน) และ

(ข) การมีฟังก์ชันแนลยูนิตที่แบ่งเป็นส่วน ๆ อย่างจริง ๆ ที่จะทำให้แต่ละฟังก์ชันแนลยูนิต หรือแต่ละเวคเตอร์สามารถให้ผลการคำนวณออกมาหนึ่งอันต่อทุก ๆ clock period

ต่อไปนี้ก็จะเป็นการอธิบายอย่างสั้น ๆ สำหรับเรื่องของ input/output processor (IOP), central memory, secondary storage, virtual memory schemes, memory error correction (SECDED), CPU, ฟังก์ชันแนลยูนิต, เวคเตอร์ โอเปอเรชัน, พาราเลล โอเปอเรชัน, อินสตรักชันบัฟเฟอร์, exchange mechanism หรืออินเตอร์รัพต์ (interrupt), input/output section และอิทธิพลของซอฟต์แวร์



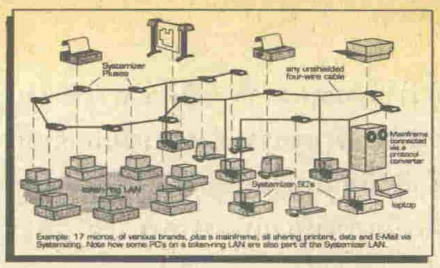
รูปที่ 3 building blocks ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

IOP

ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นได้รับการออกแบบขึ้นมาเพื่อให้สามารถแก้สมการเส้นตรง (linear equation) และสมการนอนลิเนียร์ ให้เป็นไปอย่างรวดเร็วที่สุดในแง่ของการสามารถทำการคำนวณเลขแบบ floating point ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้, IOP subsystem ที่เห็นในรูปที่ 3 นั้นเป็นของใหม่ที่มีผู้คิดขึ้นมาเมื่อหลังปี ค.ศ. 1960 และได้นำมาใช้ใน CDC 6600 อันเป็นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่ครองตำแหน่งตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964 ถึงปี ค.ศ. 1970 และได้มีการใช้ IOP นี้ในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ตระกูล Cray X-MP (X-MP : Extended Multi Processor), ภายใน IOP จะประกอบด้วย โปรเซสเซอร์ขนาดเล็กจำนวนหนึ่งที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน ซึ่งในโปรเซสเซอร์แต่ละตัวก็จะมีสตอเรจยูนิต อลิธเมติกยูนิต และคอนโทรลยูนิตเป็นของตัวเอง สรุปแล้ว IOP จะทำหน้าที่โอนงานจากอินพุตดีไวซ์ต่าง ๆ (input devices) ไปให้หน่วยความจำ (เมมโมรี) และจากหน่วยความจำไปยังเอาต์พุตดีไวซ์ต่าง ๆ หรือไปยังคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็น ฟรอนต์เอ็นด์ (front end) ให้แก่ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์อีกทีหนึ่งซึ่งระบบฟรอนต์เอ็นด์นี้จะทำหน้าที่ในแง่ของการตระเตรียมงานต่าง ๆ ก่อนที่จะส่งงานนั้น ๆ ไปให้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เพื่อเอ็กซีคิวต์ (execute)

central memory และ secondary storage

ประสิทธิภาพการทำงานของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ทุกตัวจะแขวนไว้กับขนาดและวิธีการจัดองค์กรภายในเซ็นทรัลเมมโมรีหรือเซ็นทรัลสตอเรจซิสเต็ม กรรมวิธีการผลิตตัวเมมโมรีนั้นได้พัฒนามาเรื่อย ๆ จนกระทั่งปัจจุบันที่ขนาดของเมมโมรีได้มีความกะทัดรัดมากขึ้นและมีดาต้า วิธ (data width) ขนาด 64 บิต ได้มีการใช้วัสดุเช่น static metal oxide-silicon ในรูปของ MOS LSI สำหรับการทำชิพ (chip) ที่มีความจุ 64 กิโลบิตต่อชิพหนึ่งตัวในชั้นแรก ซึ่งในต่อ ๆ ไปก็จะมีชิพที่มีความจุหรือความหนาแน่นขนาด 256 กิโลบิตหรือสูงกว่านี้ ปรากฏในท้องตลาดเป็นละลอก ๆ ในแง่ที่ว่าความหนาแน่นของชิพจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อันจะทำให้สามารถทำเมมโมรีให้ใหญ่มาก ๆ ได้ โดยที่ยังมีความกะทัดรัดอยู่ แต่ความหนาแน่นของชิพนี้จะต้องถึงขีดจำกัดเข้าสักวันหนึ่ง ซึ่งต้องมีการหาทางออกอย่างอื่นต่อไปอีกและก็มีผู้คิดไว้แล้วว่าควรทำอย่างไรต่อไป



คราวนี้จะพูดถึงเรื่องของ central storage access times ซึ่งเมื่อ 2-3 ปีที่แล้วได้ลดมาเหลือแค่ 50 นาโนวินาที อันหมายความว่าจะสามารถ access คำ (word) แต่ละคำแบบเรียงกันเป็นอนุกรมได้ถึง 20 ล้านคำต่อวินาที ซึ่งผู้ออกแบบซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ของแต่ละบริษัทต่างหาทางทำให้การ access นี้เร็วขึ้นให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ด้วยการใช้ memory banks พร้อมด้วยการ interleave ที่จะทำให้สามารถอ่านข้อมูลได้คราวละมาก ๆ เช่นในกรณีของเซ็นทรัล สตอเรจ ซิสเต็มที่ interleave ด้วย 128 memory bank ก็จะสามารถอ่านข้อมูลได้คราวละ 128 คำ แทนที่จะอ่านได้ทีละคำเหมือนเช่นที่เคยเป็นอยู่ อันนี้ก็เป็นผลมาจากการจัดองค์กรภายในเมมโมรีโดยใช้เทคนิคใหม่ ๆ นั่นเอง ส่วนขนาดความจุของเซ็นทรัลสตอเรจก็จะอยู่ในระดับล้านคำ เช่น 9 ล้านคำ, 256 ล้านคำ หรือสูงกว่านี้ และเรื่องนี้จะไปผูกพันกับเรื่องของ secondary storage ต่อไปอีก ซึ่งทั้งหมดนี้ก็เนื่องมาจากว่าซีพียู (CPU) ของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นทำงานเร็วเหลือเกิน อันเป็นต้นเหตุที่จะต้องหาทางทำให้สตอเรจทั้งหลายมีความจุสูงตามไปด้วย เพราะทุกอย่างต้องสัมพันธ์กันหมด ดังจะเห็นจากรูปที่ 3

จากเซ็นทรัล สตอเรจ ซิสเต็มก็มาถึงเซกันดารี (secondary) สตอเรจ โดยจะเริ่มตรงจุดที่ว่า ในการแก้ปัญหาใหญ่ ๆ ในด้านวิทยาศาสตร์นั้นได้ปรากฏผลออกมาว่า เซ็นทรัลสตอเรจที่มีความจุขนาด 8 ล้านคำนั้นไม่พอเพียงสำหรับการใช้ซีพียูในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ (เช่น Cray X-MP) ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงน่าจะทำให้เซ็นทรัล สตอเรจใหญ่ขึ้น เพื่อแก้ปัญหานี้ แต่ในทางปฏิบัตินั้นเรื่องของค่าใช้จ่ายกับเรื่องขีดจำกัดของตัวรีจิสเตอร์จะบังคับไม่ให้เลือกวิธีดังกล่าว จึงได้มีการแก้ปัญหาด้วยทางออกอื่นในรูปของการรอมชอมด้วยการใช้ เซกันดารี สตอเรจซึ่งจะถูกกว่า โดยได้มีการเปิดโอกาสให้เลือกใช้สิ่งที่เรียกว่า **โซลิด-สเตต สตอเรจดีไวซ์** (solid-state storage device หรือ SSD) เมื่อจำเป็น, SSD จะเป็นเหมือน **แรมดอม-แอ็คเซส ดีไวซ์** อย่างหนึ่งที่ทำงานได้เร็วมาก ๆ และจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลขั้นแรกหรือข้อมูลที่ได้ออกมากลางคันอันเป็นเสมือนที่พักข้อมูลก็ว่าได้ การใช้ SSD นี้จะช่วยเพิ่มหน่วยความจำส่วนกลางหรือเซ็นทรัลสตอเรจ เช่นกรณีของเครื่องแบบ Cray X-MP ได้อีกถึง 128 ล้านคำโดยขนาดของแต่ละคำจะเท่ากับ 64 บิต ส่วนอัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูล

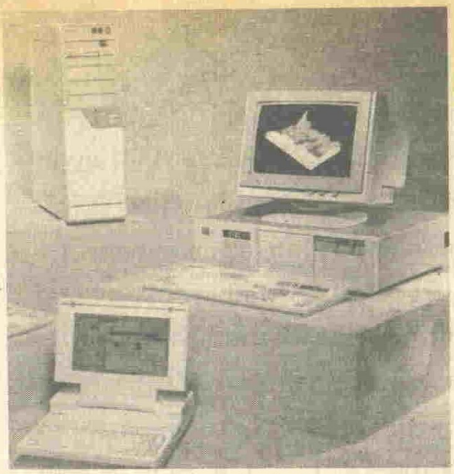
ก็จะสูงถึง 128 ล้านคำต่อวินาทีต่อหนึ่งแชนแนลโดยมี access time น้อยกว่า 40 ไมโครวินาที เมื่อใช้ SSD และใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบ Cray X-MP, ประโยชน์ของ SSD จึงเป็นการเข้ามาช่วยทำให้ประสิทธิผลให้ดีขึ้นนับเป็นเท่าตัวสำหรับการใช้งานที่จะมีปัญหาในเรื่อง I/O-bound

virtual memory schemes

เรื่องของเวอชวล (virtual) เมมโมรี สกีมนี้จะเป็นเรื่องของการอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในธุรกิจทั่วไปให้สามารถใช้ drums หรือ disks เป็นที่เก็บข้อมูลระหว่างที่มีการเอ็กซีคิวต์โปรแกรมอันหนึ่ง โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องเขียนคำสั่งขึ้นมาเอง สกีมหรือวิธีการที่ผู้ผลิตคอมพิวเตอร์สร้างขึ้นมาช่วยผู้ใช้นี้เรียกว่า เวอชวล เมมโมรี ซึ่งทำงานด้วยการสร้างเทเบิ้ล (table) ขึ้นมาอันหนึ่งเพื่อจะแปลง real memory ทั้งหมดให้อยู่ในรูปของบล็อกต่าง ๆ (blocks) ซึ่งแต่ละบล็อกดังกล่าวก็จะมีชื่อเรียกว่า เพจ (page) และอิมเมจของแต่ละเพจเหล่านี้ก็จะถูกนำมาเป็นไว้ในเพจจิ้งดีไวซ์ ซึ่งนำมาใช้ได้เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของโปรแกรมต้องการข้อมูลจาก real memory ในขณะเอ็กซีคิวต์ สรุปแล้วเวอชวล เมมโมรี จะเข้ามาทำให้ขนาดของเมมโมรีใหญ่พอสำหรับโปรแกรมอันใดอันหนึ่งในขณะเอ็กซีคิวต์

memory error correction (SECDED)

SECDED นี้ย่อมาจากคำว่า single error correction/double error detection และจะมีหน้าที่ดูว่าข้อมูลที่เขียนเข้าไปในเมมโมรี จะยังคงกลับมายังซีพียูในรูปที่เหมือนเดิมหรือไม่ กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า SECDED มีหน้าที่รักษาความถูกต้องของข้อมูล และ



จะอยู่ในรูปของเน็ตเวอร์กที่เชื่อมโยงระหว่างซีพียูกับเมมโมรี การรักษาความถูกต้องนี้จะดูว่าถ้าบิตใดบิตหนึ่งของดาต้า เวิร์ด (data word) เกิดผิดไปเป็นอย่างอื่นก็จะได้รับการแก้ไขให้ถูกต้องโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าเกิดมีการผิดพลาดเป็นจำนวน 2 บิตในหนึ่งดาต้า เวิร์ด ก็จะมีการตรวจสอบว่ามีที่ผิดเกิดขึ้นแล้วแต่จะไม่แก้ไขให้ และทั้งสองกรณีดังกล่าวนี้ สามารถมีผลให้เกิดอินเตอร์รัพต์ที่ซีพียูอันจะขึ้นอยู่กับ interrupt options ที่เลือกใช้สำหรับทำการประมวลผลเวลามีข้อผิดพลาด สำหรับในกรณีที่มีที่ผิดในหนึ่งดาต้า เวิร์ดมากกว่า 2 บิตขึ้นไป ความสับสนก็จะเกิดขึ้นทันที เพราะกลไกเช่น SECDED จะช่วยอะไรไม่ได้มาก

เมื่อทราบว่า SECDED คืออะไรแล้ว ก็จะขอเล่าต่อไปว่าในตอนแรกเริ่มนั้นซุปเปอร์คอมพิวเตอร์เช่น Cray-1 serial 1 ยังไม่ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า SECDED แต่ก็ให้ความเร็วในการคำนวณได้สูงโดยมี clock period เท่ากับ 8.5 นาโนวินาที ซึ่งก็จะเกิดมีปัญหาในแง่ของการไว้ใจได้อันทำให้ Cray Reserch ต้องนำ SCEDED มาใช้โดยยอมเสียสละความเร็ว เพื่อแลกกับการไว้ใจได้อันเป็นเหตุให้ clock period เพิ่มขึ้นเป็น 12.5 นาโนวินาที ซึ่งหมายความว่าเครื่องจะทำงานช้าลงไปอีกนิด, ส่วน SECDED อันเป็น error-processing scheme ที่ใช้ในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบ Cray-1 นั้นได้อาศัย codes ของ R.W. Hamming เป็นหลัก (Hamming สร้าง codes อันนี้ขึ้นมาเมื่อปี 1950)

ซีพียู

การจัดองค์กรภายในซีพียูนั้นจะต่างออกไปตามประเภทของคอมพิวเตอร์เช่น ในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้งานด้านวิทยาศาสตร์นั้นจะมีการออกแบบให้สามารถคำนวณตัวเลขที่เป็น floating point ให้ได้รวดเร็วที่สุด โดยต้องมีความแม่นยำสูงพร้อมไปในเวลาเดียวกัน สรุปแล้วซีพียูของบรรดาซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิทยาศาสตร์นั้นมักจะมีคุณสมบัติดังนี้ :-

* มีฟังก์ชันแนล ยูนิต ที่เป็นอิสระจำนวนหลาย ๆ ยูนิต
* มีรีจิสเตอร์แบบต่าง ๆ หลาย ๆ ตัว
* ใช้อินสตรัคชันเป็นจำนวนมาก
* ใช้ cache memory ที่เร็วมาก ๆ ให้ทำหน้าที่เป็นอินสตรัคชันบัฟเฟอร์
* ใช้เวคเตอร์ไปป์ (vector pipes) เป็นจำนวนมาก
* มีเส้นทาง (paths) ไปสู่เซ็นทรัล สตอเรจได้มากมายหลายทาง และ
* มีเซ็นทรัล สตอเรจที่อยู่ในรูปของส่วนที่อยู่ข้างบนจะควบคุมส่วนที่อยู่ข้างล่าง (hicrachy of central storage)

ต่อไปอีกอย่างหนึ่งคือ clock period ของซีพียูนั้นจะมีหน่วยเป็นนาโนวินาที และจะทำการคำนวณเลขในรูปของ 2's complement อยู่สองโหมด (modes) คือสกาล่าร์และเวคเตอร์พร้อมด้วยการใช้ฟังก์ชันแนล ยูนิต แบบอิสระจำนวนหนึ่ง ส่วนเวิร์ด (word) หรือ "คำ" ที่ถือว่าเป็น basic addressable central storage (memory) unit นั้นจะมีขนาดเท่ากับ 64 บิต อันนี้ก็เป็นเรื่องสั้น ๆ

เกี่ยวแก่คุณสมบัติของซีพียูของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ฟังก์ชันแนล ยูนิต

อานุภาพของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์มาจากการสามารถทำอะไร ๆ หลาย ๆ อย่างได้พร้อมกันในรูปของพาราเลลโอเปอเรชัน (parallel operations) ซึ่งการที่จะเป็นเช่นนี้ได้ก็โดยอาศัยสิ่งที่เรียกว่า ฟังก์ชันแนล ยูนิตแบบอิสระหลาย ๆ อันเข้ามาทำให้เป็นไปได้ อันทำให้คิดคืบต่อไปได้อีกว่า ถ้าคอมพิวเตอร์ยิ่งมีฟังก์ชันแนล ยูนิตแบบอิสระมากเท่าใดก็ยิ่งจะแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้เร็วขึ้นเท่านั้น ถ้าสามารถใช้ยูนิตต่าง ๆ ได้พร้อม ๆ กัน หน้าที่ของฟังก์ชันแนล ยูนิตก็คือการรับโอเปอแรนด์ (operands) เข้ามาแล้วส่งคำตอบออกไปเมื่อโอเปอเรชั่นเสร็จสมบูรณ์ ส่วนโอเปอแรนด์ก็คือปริมาณหรือฟังก์ชันที่นำมาทำโอเปอร์เรชันทางคณิตศาสตร์หรือตรรกศาสตร์ สำหรับสถาปัตยกรรมของคอมพิวเตอร์บางแบบนั้นทั้งโอเปอแรนด์และผลของการคำนวณจะอยู่ในรีจิสเตอร์ (registers) เป็นการชั่วคราวในขณะที่เดินทางไปและกลับจากเซ็นทรัล เมมโมรี ส่วนสถาปัตยกรรมอีกแบบหนึ่งนั้นการคำนวณต่าง ๆ จะได้รับการโอนจากตำแหน่งหนึ่งของเมมโมรีไปยังอีกตำแหน่งของเมมโมรีโดยจะเก็บเฉพาะแค่ค่าของ address ไว้ในรีจิสเตอร์ ส่วนสถาปัตยกรรมแบบที่สามจะเป็นการผสมระหว่างสองแบบแรก ซึ่งแต่ละแบบที่กล่าวมาก็ล้วนมีข้อดีและข้อเสียทั้งนั้น จึงต้องดูที่ประสิทธิผลอันเป็นขั้นสุดท้ายที่จะวัดว่าสถาปัตยกรรมแบบไหนดีที่สุดและสำหรับกรณีใด

ในทางปฏิบัตินั้น ฟังก์ชันแนล ยูนิตทุกอันจะทำหน้าที่ไปตามอัลกอริทึม (algorithms) ที่กำหนดไว้ในเวลาอันคงที่และจะทำหน้าที่ในทันทีที่ได้มีการป้อนโอเปอแรนด์เข้ามาในยูนิตเช่นนี้ เวลานับตั้งแต่ที่ได้มีการส่งโอเปอแรนด์เข้ามาในยูนิตจนกระทั่งโอเปอเรชันเสร็จจะวัดด้วยจำนวน clock periods ซึ่งหนึ่ง clock period จะเท่ากับเวลาที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่เล็กที่สุดอันหนึ่งที่คอมพิวเตอร์จะทำสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เช่นในกรณีของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นเวลาเช่นนี้จะน้อยกว่า 10 นาโนวินาที นอกจากนี้ฟังก์ชันแนล ยูนิตแต่ละชนิดจะต้องการจำนวน clock periods ต่าง ๆ กันออกไปสำหรับปฏิบัติภารกิจหนึ่งโอเปอเรชันให้เสร็จสมบูรณ์ เช่น เวลาที่ใช้ในการหารกันหนึ่งครั้งอาจต้องการเวลามากถึง 14 clock periods หรือมากกว่านี้ ฯลฯ

ฟังก์ชันแนล ยูนิตมักจะอยู่ในรูปที่เป็นกลุ่มเพื่อทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่ง และจะประกอบด้วยกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ :-

* address "functional units" (ย่อว่า fu's)
* scalar fu's
* vector fu's
* floating-point fu's

เริ่มแรก address fu's จะทำหน้าที่ส่งผลที่ได้จากการคำนวณไปให้ address registers ส่วน scalar fu's นั้นจะทำหน้าที่ส่งผลต่าง ๆ ในรูปของ 64 บิต ไปยัง scalar registers หรือตรงไปยัง memory location, vector fu's เช่นของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์แบบ Cary X-MP ก็จะทำหน้าที่ เช่น vector add, shift ฯลฯ สุดท้ายก็จะเป็น floating point fu's ที่เป็นเสมือนสันหลังของการคำนวณ (เช่น บวก, คูณและหาร) สำหรับซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ทั้งหลายซึ่งซุปเปอร์แต่ละแบบก็จะมีสถาปัตยกรรมสำหรับ floating-point fu's ต่างกันออกไป

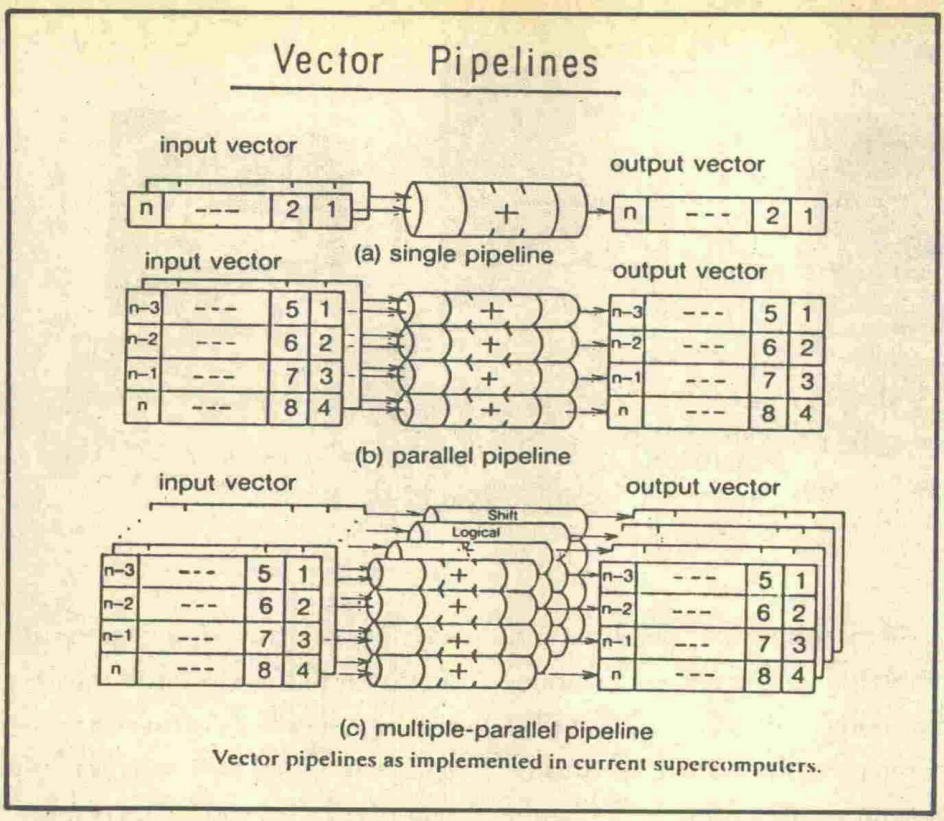
ตัวอย่างอันหนึ่งของเซต (set) ของฟังก์ชันแนล ยูนิตก็จะเป็น :-

- Integer add
- Integer multiply
- Scalar Boolean
- Increment
- Branch
- Floating point add
- Floating point multiply
- Floating point divide
- Scalar population count
- Vector add
- Vector multiply
- Vector shift
- Vector Boolean

เวคเตอร์ โอเปอเรชัน

จะขอเริ่มด้วยคำว่าสกาล่าร์ (scalar) ก่อนซึ่งหมายถึงปริมาณหรือค่าของตัวเลขแบบตัวเดียว ดังนั้นสกาล่าร์โอเปอเรชัน จะหมายถึงการโอเปอเรตกับตัวโอเปอแรนด์ทีละคู่หรือทีละสองตัวและให้ผลหรือคำตอบออกมาหนึ่งอัน เช่น การบวกเลขสองตัวเข้าด้วยกันและเก็บผลที่ได้ไว้ในที่แห่งหนึ่ง โอเปอเรชันแบบนี้จะใช้ในคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป คราวนี้ก็มาถึงเวคเตอร์ (vector) ซึ่งหมายถึงกลุ่มของตัวเลข ดังนั้นเวคเตอร์ โอเปอเรชัน ก็จะหมายถึงการกระทำที่ต้องเกี่ยวข้องกับเซตของโอเปอแรนด์ ในกรณีของการบวกกันนั้นจะได้ว่า หนึ่งเวคเตอร์ โอเปอเรชันจะบวกโอเปอแรนด์จำนวนสองเซตเข้าด้วยกัน โดยบวกกันเป็นคู่ ๆ และให้คำตอบออกมาชุดหนึ่ง เงื่อนไขอันต่อไปก็คือว่าการบวกดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นแบบทันทีทันควันแต่จะอยู่ในรูปของไปป์ไลน์ (pipelines) ดังในรูปที่ 4

ความหมายของไปป์ไลน์มีว่าเนื่องจากฟังก์ชันแนล ยูนิตของคอมพิวเตอร์มีการแบ่งเป็นส่วน ๆ (Seg-



รูปที่ 4 แสดงการบวกเลขด้วยหลักของเวคเตอร์ไปป์ไลน์ (vector pipelines) ที่ใช้กันมากในซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

ments) การเอ็กซีคิวต์แต่ละอินสตรัคชันจึงต้องทำเป็นขั้น ๆ ซึ่งแต่ละขั้นมักใช้เวลาหนึ่ง clock period, ในขณะปฏิบัติงานนั้นก็จะต้องมีการบรรจุไปป์ไลน์ให้เต็มเสียก่อน ก่อนที่คำตอบหรือผลลัพธ์จะไหลออกจากไปป์ไลน์ได้ ส่วนจะใช้เวลานานแค่ไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวน segment steps ของแต่ละฟังก์ชันแนล ยูนิต คือทันทีที่ไปป์ไลน์ถูกบรรจุให้เต็มก็จะให้ผลคำตอบออกมาทั้งหมดภายในเวลาเพียงหนึ่ง clock period ซึ่งอาจมีการเก็บผลคำตอบนี้ไว้ในเวคเตอร์รีจิสเตอร์ต่าง ๆ หรือเก็บไว้ในเมมโมรีโดยตรงไม่มีการดัดแปลงอะไรทั้งสิ้น จึงมีชื่อเรียกการเก็บผลคำตอบทั้งสองแบบดังกล่าวว่า **รีจิสเตอร์-รีจิสเตอร์ เวคเตอร์ โอเปอเรชัน** และ**เมมโมรี-เมมโมรี เวคเตอร์ โอเปอเรชัน** ซึ่งการเลือกว่าจะใช้แบบใดนั้นจะมีผลกับเรื่องของความเร็วในการคำนวณอันจะต้องพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป ส่วนวิธีที่จะปรับปรุงให้การคำนวณแบบไปป์ไลน์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก ๆ นั้นจะเห็นได้จากรูป (a), (b) และ (c) ของรูปที่ 4 ที่เริ่มจากตัวอย่างที่แสดงการใช้ไปป์ไลน์เพียงอันเดียวมาเป็นการใช้เป็นแผงและในที่สุดก็จะใช้ทีเดียวเป็นฟ่อนหรือหลาย ๆ แผงรวมกันดังในรูปที่ 3 (c)

พาราเลล โอเปอเรชัน

การกระทำที่จะก่อให้เกิดการคำนวณแบบขนานหรือพาราเลล โอเปอเรชันนั้นมีอยู่หลายวิธีทาง เช่น :-

ก. ทำโอเปอเรชันต่าง ๆ สำหรับสกาล่าร์และเวคเตอร์พร้อม ๆ กัน

ข. ใช้เวคเตอร์ไปป์หลาย ๆ อัน (vector pipes) กับฟังก์ชันแนล ยูนิตแบบต่าง ๆ

ค. ใช้ผลของการคำนวณที่ได้ออกมาเป็นสาย (stream) จากเวคเตอร์รีจิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งให้ไปเป็นโอเปอแรนด์ในโอเปอเรชันอีกอันหนึ่งซึ่งจะใช้ฟังก์ชันแนล ยูนิตอีกตัวหนึ่ง โดยทั้งหมดนี้จะกระทำไปภายใน clock period เดียวกัน

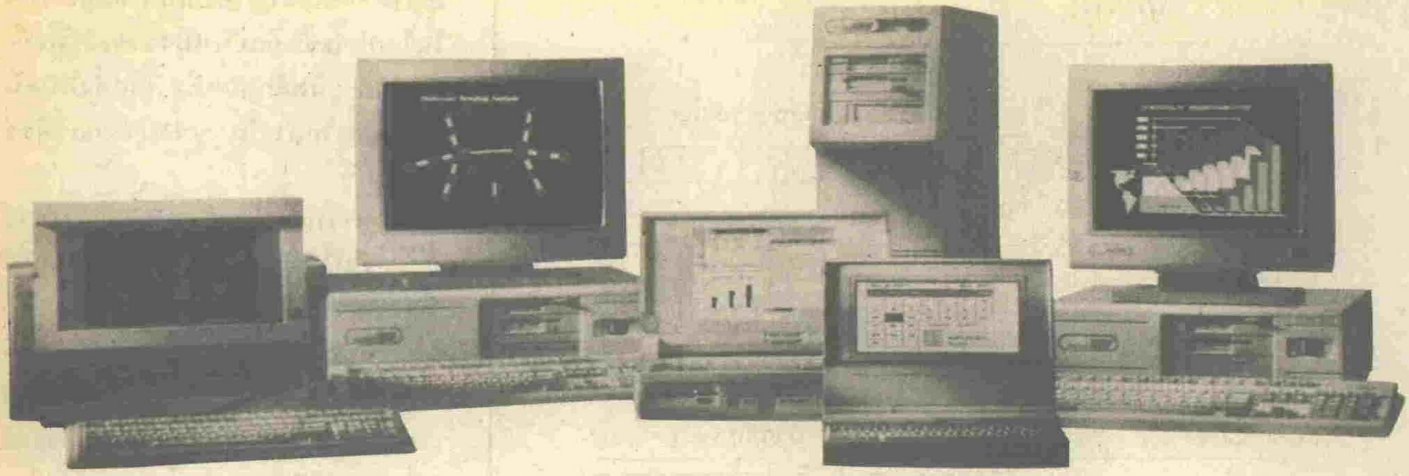
พาราเลล โอเปอเรชันบนเวคเตอร์นี้จะทำให้ได้คำตอบสองชุดหรือมากกว่านี้ต่อหนึ่ง clock period, เวคเตอร์ โอเปอเรชันส่วนใหญ่จะใช้เวคเตอร์ รีจิสเตอร์สองตัวเป็นโอเปอแรนด์หรือไม่ก็ใช้เวคเตอร์และสกาล่าร์ รีจิสเตอร์อย่างละหนึ่งตัวแต่ก็มีข้อยกเว้นอื่น ๆ (เช่น vector shifts ฯลฯ) ที่จะทำให้การใช้รีจิสเตอร์ดังกล่าวในวรรคแรกเป็นไปไม่ได้อันเนื่องมาจากจะมีการเกิดปัญหาข้อขัดแย้งอื่น ๆ ตามมา ฯลฯ

อินสตรัคชันบัฟเฟอร์, อินเตอร์รัพต์และ I/O section

ความหมายอย่างสั้น ๆ ของอินสตรัคชันบัฟเฟอร์ (instruction buffers) ก็คือว่าตัวบัฟเฟอร์นี้จะเป็น cache memory ที่ทำงานเร็วมาก ๆ ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในสถาปัตยกรรมของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ เพื่อให้สามารถเอ็กซีคิวต์อินสตรัคชันในรูปแบบที่ overlap กันได้มากที่สุด เพื่อความรวดเร็วนั่นเอง

ความหมายง่าย ๆ ของอินเตอร์รัพต์ (interrupt) ก็คือการจัดให้มีการประมวลผลข้อมูล ตามลำดับเหตุการณ์ความสำคัญและจะเกิดการอินเตอร์รัพต์ด้วยเหตุต่าง ๆ ดังนี้ :-

* โปรแกรมอินเตอร์รัพต์ชัน เพื่อเปิดโอกาสให้โปรแกรมอื่นเข้าไปใช้ซีพียู
* อินเตอร์รัพต์ชันที่เกิดขึ้นเพราะฮาร์ดแวร์ได้ตรวจพบว่าเกิดมีข้อมูลหรือแอดเดรสผิดพลาด
* อินเตอร์รัพต์ชันที่เกิดจากระบบดำเนินการหรือซุปเปอร์ไวเซอร์ (supervisor) คอลล์



* อินพุต/เอาต์พุต อินเตอร์รัพต์ชันที่เกิดเมื่ออินพุต/เอาต์พุตดีไวซ์ได้ทำงานชิ้นใดชิ้นหนึ่งเสร็จลงหรือต้องการเรียกความสนใจ

* อินเตอร์รัพต์ชันที่เกิดจากอุปกรณ์ทำหน้าที่ผิดไปจากที่ควรจะเป็น

ส่วนวิธีที่จะจัดการกับอินเตอร์รัพต์ต่าง ๆ นั้นจะขึ้นกับชนิดของเครื่อง โดยจะแปรไปตามสถาปัตยกรรมของคอมพิวเตอร์

ส่วนเรื่องของ I/O section นั้นมีอยู่ว่าได้มีการกำหนดวิธีการตรวจสอบต่าง ๆ ไว้สำหรับแก้ปัญหาอันเกี่ยวแก่การสับสนหรือการขัดแย้งใน I/O section ของซีพียูที่อาจมี memory channel pairs ตั้งแต่หนึ่งคู่ขึ้นไปรวมทั้งการมี I/O channel pair ที่อาจสูงถึง 64 คู่ ซึ่งเมื่อผนวกกับการมีซีพียูหลาย ๆ ตัวเข้าไปด้วยแล้วก็จะเกิด I/O memory conflict ขึ้นได้จึงต้องมีวิธีที่จะเช็คหรือการตรวจสอบทีละขั้นเพื่อป้องกันการเกิด conflict ดังกล่าว, เพื่อป้องกันไม่ให้ไปทำลายประสิทธิผลของระบบคอมพิวเตอร์

อิทธิพลของซอฟต์แวร์

นอกเหนือไปจากความสำคัญของสถาปัตยกรรมของฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ที่ผู้ออกแบบต้องให้ความสนใจอยู่อย่างมากแล้ว ถัดไปก็เป็นเรื่องของการสร้างซอฟต์แวร์เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบขึ้นมาให้ได้อย่างเต็มที่ เพราะประสิทธิผลของคอมพิวเตอร์ทั้งหมดจะขึ้นกับสิ่งนี้ ซึ่งถ้าจะพูดให้สั้นที่สุดก็จะได้ว่า ซอฟต์แวร์ที่ดีจะต้องสามารถรีดเอาผลพวงในด้านต่าง ๆ ออกมาจากคอมพิวเตอร์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยเฉพาะในกรณีของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้นก็จะขึ้นกับระบบดำเนินการ (operating system) และขึ้นกับอะไร ๆ หลาย ๆ อย่างต่อไปอีก จนมาสิ้นสุดที่ตัวคอมพายเลอร์ (compiler) ที่จะเป็นตัวผลิตอินสตรัคชันต่าง ๆ ที่จะมาใช้ features ต่าง ๆ ของฮาร์ดแวร์ให้เกิดความพอเหมาะพอดีที่สุด

ทั้งหมดนี้ก็เป็นเรื่องราวของข้อ (1) ที่ว่าด้วย organization of building blocks ที่ถือว่ายาวหน่อยและหนักไปทางวิชาการ ส่วนข้ออื่น ๆ ที่เหลือจะสั้นมาก ๆ และอ่านสนุกเหมือนอ่านนิยาย *พบกันใหม่ในฉบับหน้าครับ*